

# LES ZONES COTONNIÈRES AFRICAINES

## DYNAMIQUES ET DURABILITÉ

**Actes du Colloque de Bamako**  
Novembre 2017

Sous la Direction de :

**Mamy SOUMARÉ**  
**Michel HAVARD**



**Université  
des SSG  
Bamako**



LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT

## REPENSER LA GESTION DES RAVAGEURS DU COTONNIER

*BREVAULT Thierry, RENOU Alain, GOEBEL Régis, CLOUVEL Pascal*

*Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), UPR AIDA, CIRAD, F-34398 Montpellier, France /  
AIDA, Univ. Montpellier, CIRAD, Montpellier, France*

*Auteur correspondant : [thierry.brevault@cirad.fr](mailto:thierry.brevault@cirad.fr)*

### RÉSUMÉ

Les insectes ravageurs représentent une contrainte majeure à l'intensification de la production cotonnière en Afrique de l'Ouest. Les filières cotonnières se sont engagées, à des degrés divers, dans des démarches de gestion intégrée des ravageurs pour réduire l'utilisation des insecticides et limiter en amont les risques sanitaires et environnementaux. Toutefois, un changement fondamental des pratiques, au bénéfice de la mobilisation des services de régulation naturelle des ravageurs, s'impose pour inventer des systèmes de production encore plus économes en pesticides et plus résilients. Les leviers permettant de favoriser les processus écologiques de régulation naturelle des ravageurs sont multiples et redevables d'actions à différentes échelles, du champ cultivé au territoire, mais nécessitent d'approfondir notre connaissance du « système de vie » des ravageurs et de leurs ennemis naturels. L'activation des processus de régulation naturelle des ravageurs implique aussi de prendre en compte la perception des acteurs dans une approche participative de la gestion collective des ressources et des processus d'innovation. À terme, il s'agit de construire une organisation territorialisée d'actions individuelles et collectives de gestion des ravageurs et des services écosystémiques, incluant des dimensions écologiques, économiques et sociales.

**Mots clés :** processus écologiques / paysage / agroécosystème / biodiversité

### ABSTRACT

Insect pests represent a major constraint to the intensification of cotton production in West Africa. The cotton value chain has been involved to varying degrees in integrated pest management approaches (IPM) to reduce the use of insecticides and to limit health and environmental risks. However, a fundamental change in farming practices to benefit the mobilization of natural pest control services is needed to invent more pesticide-efficient and resilient production systems. The levers for promoting natural pest regulation are multiple and actionable at different scales from field to territory, but still require deepening our knowledge of the “life system” of

pests and their natural enemies. The activation of ecological processes involved in natural pest regulation of pests also implies to take into account the perception of stakeholders in a participatory approach of the collective management of resources and processes of innovation. Ultimately, the aim is to build a territorialized organization of individual and collective actions for the management of pest and ecosystem services, including ecological, economic and social dimensions.

**Keywords:** ecological processes / landscape / agroecosystem / biodiversity

## INTRODUCTION

Les insectes ravageurs représentent une contrainte majeure à l'intensification de la production cotonnière en Afrique de l'Ouest. Plus de 200 espèces ont été identifiées, mais seules quelques-unes sont réellement très nuisibles (Renou & Brévault 2016). Les chenilles de la capsule (*Helicoverpa armigera* Hübner, *Diparopsis watersi* Rothschild et *Earias* sp.) provoquent des chutes d'organes fructifères, boutons floraux et jeunes capsules, et détériorent la fibre des capsules plus âgées. Le cortège d'insectes piqueurs suceurs vient immédiatement après, en termes d'importance économique. Il comprend des pucerons (*Aphis gossypii* Glover), aleurodes (*Bemisia tabaci* Gennadius), jassides (*Empoasca* sp), mirides (*Campylomma* sp, *C. nicolasi* Puton & Reuter, *C. unicolor* Poppius, *Creontiade pallidus* Rambur, *Euristylus oldi* Poppius, *Helopeltis shoutedeni* Reuter, *Megacoelum apicale* Reuter, *M. scutellare* Poppius, *Stenocapsus leucochilus* Reuter et *Taylorilygus vosseleri* Poppius) et punaises (*Dysdercus fasciatus* Signoret, *D. völkeri* Schmidt et *D. supersticiosus* Fabricius), qui peuvent réduire significativement la production par affaiblissement de la vigueur des plants, abscission d'organes fructifères, transmission de maladies, développement d'agents responsables de pourritures détruisant le contenu des capsules et dépôts de miellats sur la fibre. Les chenilles phyllophages (surtout *Syllepte derogata* Fabricius, mais aussi *Spodoptera littoralis* Boisduval et *Anomis flava* Fabricius) sont fréquemment observées en culture cotonnière. À l'échelle d'une parcelle, où leur présence est souvent liée à des défaillances dans la protection phytosanitaire, l'incidence de ces ravageurs est en général faible car les infestations sont souvent très localisées.

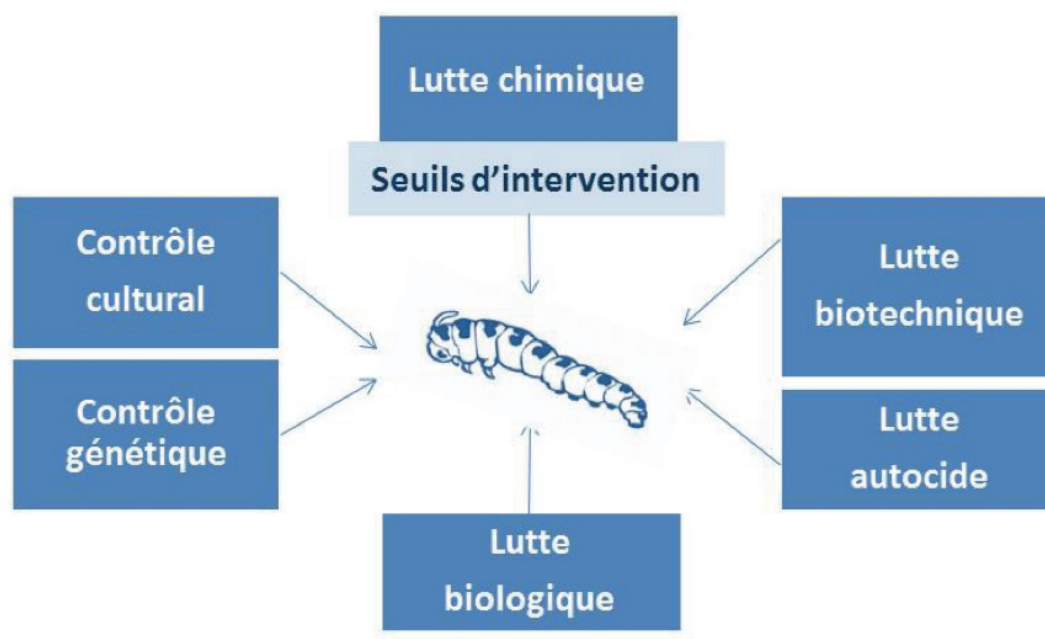
Le recours aux pesticides, comme principal moyen de lutte, a montré certaines limites comme des risques sanitaires, le développement de résistances des cibles, mais également un effet délétère sur la santé des écosystèmes, avec pour conséquence une altération des services de régulation naturelle (Bruce 2010, Barzman *et al.* 2015). S'ajoutent à cela une réduction de la gamme de molécules disponibles et l'émergence de nouvelles problématiques liées au changement de statut de ravageurs secondaires (*e.g.* jassides), ou à l'invasion de ravageurs exotiques, comme celle très récente de la noctuelle *Spodoptera frugiperda* (Goergen *et al.* 2016). Enfin, la simplification des paysages agricoles contribue à l'érosion de la diversité cultivée et à la fragmentation, voire à la disparition, des habitats non cultivés, supports de la biodiversité fonctionnelle. Cette érosion de la biodiversité et la perte de fonction de régulation qui l'accompagne accroissent la sensibilité des écosystèmes cultivés aux ravageurs.

Les filières cotonnières d'Afrique de l'Ouest se sont engagées depuis longtemps, à des degrés divers, dans des démarches de gestion « intégrée » des ravageurs de la culture, pour raisonner l'utilisation des insecticides à l'échelle du système de cultures et limiter en amont les risques sanitaires et environnementaux. Toutefois, un chan-

gement de paradigme dans les pratiques reste à opérer pour construire des systèmes de production plus économes en pesticides et plus résilients, favorisant les services écosystémiques de régulation des bioagresseurs, du champ cultivé au territoire.

## GESTION INTÉGRÉE DES RAVAGEURS

Selon la FAO (2014), la gestion « intégrée » des bioagresseurs des cultures (*IPM : Integrated Pest Management*) est une approche qui combine différentes stratégies et pratiques pour maintenir les cultures en bonne santé et minimiser l'utilisation de pesticides. Elle s'appuie en premier lieu sur la surveillance du niveau des populations de bioagresseurs ou des dégâts associés, permettant le raisonnement des traitements phytosanitaires, et l'utilisation privilégiée de matières actives sélectives et à faible empreinte écologique, par opposition au suivi d'un calendrier de traitement et à l'emploi d'insecticides à large spectre. Le concept a été développé en même temps que celui de seuil économique d'intervention, seuil fixant la densité de population de bioagresseurs à partir de laquelle une mesure de lutte doit être prise pour empêcher la population de ravageurs d'atteindre le seuil économique de dégâts (Stern *et al.* 1959). La gestion « intégrée » s'appuie aussi sur le recours à une combinaison de méthodes alternatives de contrôle ou de lutte (Fig. 1) qui concourent à limiter l'incidence des bioagresseurs.



**Figure 1.** Les différentes méthodes de contrôle ou de lutte développées contre les bioagresseurs.

Ces méthodes alternatives peuvent être mobilisées pour agir sur la population initiale de bioagresseurs, pour éviter la concordance entre la phase de colonisation

par le bioagresseur et la période de sensibilité de la culture (évitement) ou pour minimiser les dégâts lorsque la culture et le bioagresseur se trouvent en contact (atténuation). Enfin, les solutions de rattrapage, comme les traitements insecticides, permettent de limiter les dégâts lorsque les leviers mis en œuvre auparavant n'ont pas été efficaces (Attoumani-Ronceux *et al.* 2010).

Deux grands types de programmes de protection sur seuil pour le contrôle des chenilles de la capsule sont pratiqués en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest : un programme appelé « Lutte étagée ciblée » (LEC), qui comprend des traitements d'assurance à demi-dose (dits « filets de protection »), et un programme appliquant strictement le principe des seuils (seuils *sensu stricto*). Les seuils d'intervention ont été définis de manière empirique et varient selon les pays (Silvie *et al.* 2013). Au Mali, le programme LEC est considéré comme une étape de transition vers l'emploi des seuils au sens strict. En 2010, 66% des surfaces (280 000 ha) étaient conduites de manière conventionnelle, 24% selon le programme LEC et 10% sous le régime de seuils *sensu stricto*. Au Cameroun, une méthode d'échantillonnage séquentiel a été mise au point afin de faciliter les observations au champ et la prise de décision (Brévault *et al.* 2009). Une planchette spécifique à l'usage des producteurs a été conçue. Ce programme de « Lutte après Observation Individuelle des Chenilles » (LOIC), qui concernait près de 10 % des superficies en 2013, ne procure pas toujours des économies d'insecticides car son principal atout réside dans un meilleur positionnement (*timing*) des traitements insecticides par rapport à la dynamique des infestations en chenilles de la capsule.

Les caractères de résistance ou de tolérance aux ravageurs les plus utilisés dans la zone cotonnière d'Afrique de l'Ouest sont la résistance à la bactériose et à la mosaïque, ainsi que la pilosité foliaire, qui constitue une barrière physique à la prise de nourriture et surtout à l'oviposition des jassides (Parnell *et al.* 1949). Les potentialités qu'offre la diversité génétique du cotonnier pour la résistance aux ravageurs restent cependant insuffisamment exploitées dans les programmes de sélection variétale. Dans certains pays, l'utilisation de coton transgénique, produisant des toxines provenant de la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* (Bt), permet de protéger la culture contre certains lépidoptères phytophages (Showalter *et al.* 2009). Les bénéfices potentiels associés aux cotonniers transgéniques insecticides sont une diminution du recours aux traitements insecticides contre les cibles, la conservation des ennemis naturels, un contrôle des ravageurs ciblés à une échelle régionale et des rendements accrus ou plus stables. Leur diffusion pose cependant la question des risques agronomiques et écologiques, qui incluent les flux de gènes, le développement de résistance chez les insectes et des effets non intentionnels sur des espèces non ciblées, ou la résurgence de ravageurs secondaires (mirides) (Luo *et al.* 2014). Des cotonniers transgéniques de deuxième génération, incluant notamment des ARN interférents (*gene silencing*), sont en développement (Tabashnik & Carrière 2017).

L'introduction ou les lâchers à grande échelle d'ennemis naturels pour limiter les populations de ravageurs du cotonnier, comme en Egypte (Baraka *et al.* 2008), ne sont pas encore d'actualité en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest. Le potentiel d'impact des ennemis naturels est souvent difficile à démontrer, en raison de la gamme des ravageurs à contrôler, du caractère annuel de la culture et de l'importance accordée aux traitements insecticides en début de saison, souvent avec des insecticides à large spectre (Deguine *et al.* 2008). Les méthodes de lutte biologique reposant sur l'emploi de préparations à base de virus (baculovirus) ou de bactéries (*Bacillus thuringiensis*) spécifiques d'insectes n'ont connu une diffusion que sur de faibles superficies, en production de coton biologique. En culture biologique au Bénin, leur efficacité a pu atteindre celle d'une protection par des insecticides chimiques grâce à l'adjonction de phagostimulants (Mensah *et al.* 2012) et de très faibles doses d'insecticide (Renou 1987). Cependant, le coût de telles applications demeure souvent un obstacle à la diffusion de cette méthode de lutte (Renou & Brévault 2016).

Parmi les plantes les plus utilisées pour fabriquer des pesticides d'origine naturelle figure le neem, *Azadirachta indica*, dont les préparations à base de graines ou de feuilles perturbent le comportement des ravageurs (Gahukar 2000). Elles peuvent être employées seules ou associées à d'autres agents biologiques (Togbe *et al.* 2015). En Australie, un produit à base d'huile de *Clitoria ternatea* (Fabaceae) a un effet dissuasif sur l'oviposition et l'alimentation des larves d'*Helicoverpa* spp., et toxique pour les larves (Mensah *et al.* 2015). L'utilisation de médiateurs chimiques (ou substances sémiocchimiques) régissant les relations plantes-insectes constitue une voie en plein essor. Les médiateurs chimiques sont des molécules que les insectes détectent via leurs systèmes olfactifs et gustatifs et qui affectent leur comportement ou leur aptitude biologique. Certains sont utilisés avec succès en protection des cultures, pour la surveillance des populations de ravageurs (pièges à base de phéromones ou d'appâts alimentaires) ou comme moyen de lutte (piégeage de masse, lutte attracticide, confusion sexuelle ou encore technique du *push-pull*). La confusion sexuelle a été utilisée avec succès contre *P. gossypiella* aux Etats-Unis, en Israël et en Egypte, mais reste peu pratiquée, en raison du nombre d'espèces de ravageurs à contrôler et des difficultés de mise en œuvre de cette technologie (Cardé & Minks 1995). En Australie, des attractifs à base de composés volatiles de plantes et de stimulants alimentaires (Gregg *et al.* 2004), mélangés à un insecticide, ont été développés pour attirer et tuer l'adulte *Helicoverpa* sur les bandes traitées de la culture avant qu'il ne puisse pondre ses œufs. Un programme initié en 2002 et utilisant une combinaison de méthodes (confusion sexuelle, applications locales d'insecticides, coton Bt et lâchers de mâles stériles) a permis d'éradiquer le ver de la capsule rose, *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera, Gelechiidae), de certaines régions du sud-ouest des États-Unis et du nord du Mexique. La menace persistante de ré-invasion impose cependant le



maintien de la surveillance (Byers & Naranjo 2014).

Des substances allélochimiques sont généralement impliquées dans la réaction induite de défense des plantes, consécutivement à une attaque de ravageurs. Elles peuvent affecter le comportement ou le développement des ravageurs et leurs interactions avec leurs ennemis naturels (Bruce et al. 2008, War *et al.* 2012) : dissuasion des femelles en quête d'un site de ponte ou attraction des ennemis naturels via l'émission de composés organiques volatiles (*herbivore induced plant volatiles*), érection de barrières physiques, production de composés toxiques ou répulsifs (protéines de défense, métabolites secondaires comme le gossypol, trichomes), production de ressources pour les ennemis naturels (*e.g.*, nectar extrafloral), ou encore induction des plantes voisines qui vont elles-mêmes se mettre à produire des molécules de défense (Lopez Llandres *et al.* 2018). Des expérimentations conduites au Mali depuis plusieurs années ont montré que l'écimage des cotonniers permet de réduire significativement l'incidence de plusieurs insectes ravageurs, en particulier les chenilles de la capsule (Renou *et al.* 2011). Ces effets s'étendent aux plants non écimés voisins de plants écimés. Des stratégies de protection intégrant l'écimage de cotonniers sont en cours de diffusion (Téréta *et al.* 2016). La compréhension des mécanismes de défense induite de la plante offre de nouvelles opportunités pour réduire l'utilisation de pesticides dans les programmes de protection des cultures.

## GESTION AGROÉCOLOGIQUE DES RAVAGEURS

Si la gestion « intégrée » des bioagresseurs des cultures a permis une réduction significative de l'utilisation des pesticides et des impacts environnementaux associés, il n'en reste pas moins qu'elle est souvent utilisée comme une boîte à outils, de façon réactive, individuelle, ciblée sur la parcelle ou le ravageur (Brévault & Bouyer 2014). Pour Altieri & Nicholls (2004), la gestion intégrée des bioagresseurs n'est pas une approche agroécologique si elle consiste à raisonner les traitements chimiques sans réaliser les changements nécessaires de pratiques agricoles ou de système de production. L'activation des services de régulation écologique des bioagresseurs constitue une voie à explorer pour réduire la dépendance des agriculteurs aux pesticides et inventer des modèles de gestion agroécologique des systèmes de protection des cultures. Elle passe par une connaissance approfondie du « système de vie » des populations de ravageurs et de leurs ennemis naturels (Kennedy & Storer 2000), de leurs interactions au sein des agroécosystèmes (réseaux trophiques) et la prise en compte de l'effet des pratiques agricoles et de l'ensemble des habitats cultivés et non cultivés dans la dynamique de leurs populations. Elle passe aussi par un renforcement des systèmes d'apprentissage des producteurs (*e.g.* champs-écoles), basés sur une approche participative du processus d'innovation.

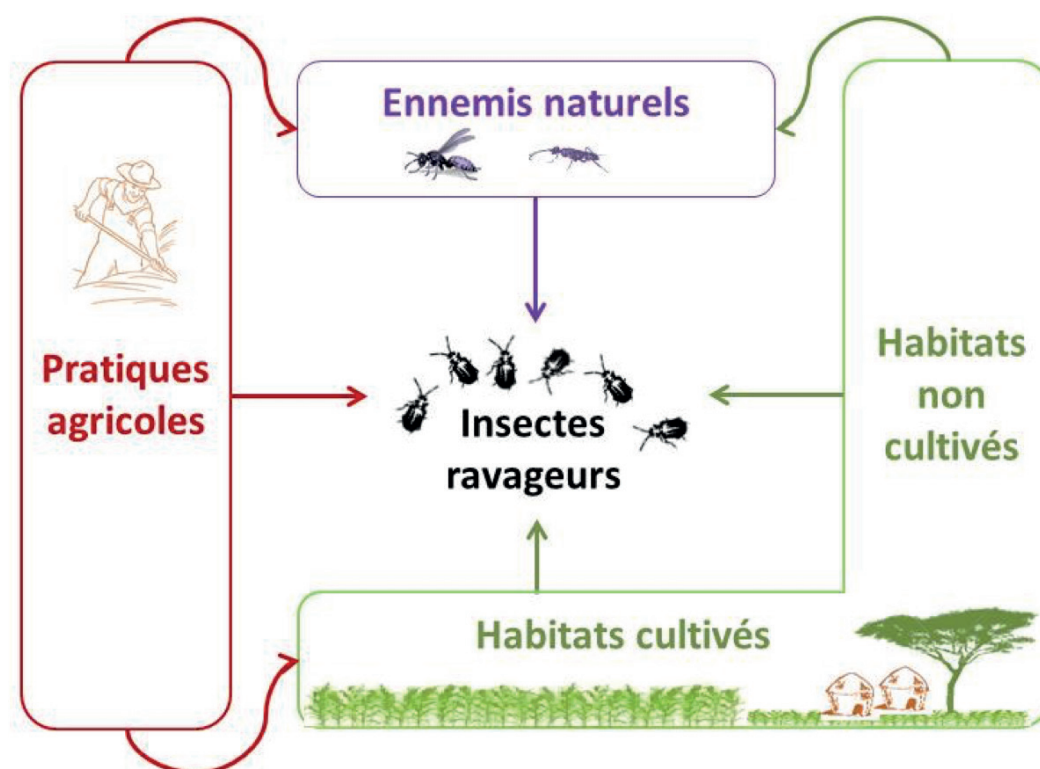


## FAVORISER LES PROCESSUS DE RÉGULATION

La régulation des bioagresseurs est un des services écosystémiques fournis par la biodiversité (Crowder & Jabbour 2014). Cette régulation s'exerce via les ressources utilisées par les bioagresseurs dans leur habitat (régulation *bottom-up*) et via les ennemis naturels (régulation *top-down*) tels que prédateurs, parasitoïdes et pathogènes (Fig. 2).

Au niveau du champ cultivé, les produits de biocontrôle comme les macroorganismes (prédateurs et parasitoïdes), microorganismes entomopathogènes (champignons, bactéries, virus), médiateurs chimiques et autres attractifs/répulsifs naturels, ou substances naturelles (extraits de plantes, éliciteurs naturels), mais aussi les pratiques agricoles comprenant le choix variétal et la diversification du peuplement végétal (*e.g.* plantes de services, bandes fleuries, couverts végétaux, rotations) (Ratnadass *et al.* 2012), constituent des leviers d'action mobilisables par l'agriculteur pour opposer des barrières physiques ou chimiques aux bioagresseurs, stimuler les mécanismes de défense ou de compensation de la culture ou encore favoriser le recrutement d'ennemis naturels. Il convient toutefois de prendre en compte le contexte paysager pour identifier les leviers d'action adaptés au système de culture, car les processus de dispersion des ravageurs et de leurs ennemis naturels sont fonction des habitats adjacents et des caractéristiques du paysage environnant (Schellhorn *et al.* 2015). En outre, on observe une variabilité importante de l'effet des pratiques sur la régulation naturelle, du fait d'une interaction forte avec l'environnement paysager (présence d'habitats semi-naturels, traitements insecticides sur les parcelles alentours, *etc.*) de la parcelle (Tscharrntke *et al.* 2012).

Au niveau du paysage, l'arrangement spatial des cultures peut retarder leur colonisation par les bioagresseurs, tandis que les éléments de végétation semi-naturelle (arbres, haies, parcs, forêts, *etc.*) peuvent constituer des habitats qui fournissent des ressources (proies ou hôtes alternatifs, pollen, nectar, refuges) pour différents ennemis naturels et donc servir de support à la régulation écologique des insectes ravageurs des cultures (Rusch *et al.* 2010). De manière générale, la régulation écologique des bioagresseurs augmente avec la complexité du paysage (Veres *et al.* 2013). L'aménagement ou la conservation de ces habitats semi-naturels dans le paysage sont donc fondamentaux pour la mise en œuvre des stratégies de lutte biologique par conservation. La notion de service écosystémique aborde ici la question des alternatives aux pesticides non pas par l'agronomie comme c'est le cas pour la lutte intégrée, l'agroécologie ou l'agriculture biologique, mais par une analyse du fonctionnement des écosystèmes en lien avec la durabilité des systèmes de production agricole.



**Figure 2.** Leviers de régulation des populations d'insectes ravageurs des cultures (d'après Brévault et al. 2015).

### COMPOSER LES ACTIONS ET LES ÉCHELLES

Le paysage, en interaction constante avec les processus écologiques qui s'y déroulent, est la résultante de la dynamique du milieu et de la société qui s'y est développée. De par sa structure et sa composition (mosaïque d'habitats), il influence la dispersion et la dynamique des populations des ravageurs et de leurs ennemis naturels. Il est sans doute le niveau d'analyse approprié pour une approche holistique de l'action, considérant les pratiques individuelles et collectives en matière de lutte contre les bioagresseurs, leur efficacité et leurs externalités, dans la perspective d'une gestion durable de la production.

La démarche que nous proposons pour une gestion agroécologique des bioagresseurs consiste à composer (i) l'action individuelle sur le milieu au travers des pratiques et des innovations techniques compatibles avec les processus de régulation écologique et (ii) l'action collective sur un territoire au travers d'une gestion coordonnée des ravageurs (gestion territoriale des ravageurs ou *area-wide pest management*) ou d'aménagement des habitats pour favoriser les processus de régulation par les ennemis naturels (gestion paysagère des ravageurs et de leurs ennemis naturels). La gestion paysagère intègre, en plus de la dimension territoriale, l'hétérogénéité du

paysage. Cette démarche implique un changement fondamental des contours de l'action, d'une approche individuelle à l'échelle de la parcelle à une organisation territorialisée de stratégies de lutte et de gestion des services écosystémiques, incluant des dimensions écologiques, économiques et sociales (Cong *et al.* 2014).

Des études sur l'impact du coton Bt ont montré que sa culture intensive dans le Nord de la Chine permettait de contrôler non seulement *H. armigera* et *P. gossypiella* mais réduisait également sa présence sur d'autres cultures hôtes (effet de halo) ou sur le coton non-Bt, respectivement, diminuant ainsi l'utilisation d'insecticides dans la région (Wu *et al.* 2008, Wan *et al.* 2012). Tabashnik *et al.* (2010) rapportent que le lâcher à grande échelle de mâles stériles pendant quatre ans en Arizona a permis de limiter l'évolution de la résistance du ver rose de la capsule au coton Bt et, en association avec d'autres méthodes (coton Bt, confusion sexuelle), a réduit l'abondance du ravageur de plus de 99%. En Australie, des stratégies volontaristes incluant la rotation des matières actives et des traitements sur seuil ont été mises au point pour ralentir le développement de la résistance des chenilles de la capsule (*Helicoverpa* spp.) aux insecticides. Malgré l'adoption de ces pratiques, la résistance a continué à se développer jusqu'à ce que l'introduction du coton Bt et le plan associé de gestion de la résistance fasse passer les exploitations d'une approche individuelle à une approche coordonnée à l'échelle du paysage, tenant compte des plantes-hôtes alternatives du ravageur avant et après la culture du coton (Downes *et al.* 2017). En matière de gestion paysagère des ravageurs, des travaux de Carrière *et al.* (2006) ont montré que des arrangements des parcelles de luzerne et des jachères (sources) par rapport aux parcelles de coton, dans le temps ou dans l'espace, réduisaient significativement les dégâts de *Lygus hesperus* (Heteroptera, Miridae) sur le coton. Dans la vallée de San Joaquin en Californie, la gestion du ravageur par la conservation de bandes de luzerne non récoltées, a permis une baisse significative de l'utilisation d'insecticides, avec moins d'une application par saison (Goodell 2009). En Chine, Liu *et al.* (2016) ont montré que la diversité des paysages augmentait le parasitisme des œufs d'*H. armigera* par *Trichogramma chilonis* en culture de coton.

## INTÉGRER ET FORMER LES ACTEURS

Dans les bassins de production où les agriculteurs sont confrontés à des ravageurs communs, il peut être intéressant pour eux de coordonner leur action à l'échelle régionale. On peut citer ici, comme exemple de coordination à l'échelle d'un territoire, la mise en place d'un programme de gestion de la résistance d'*H. armigera* aux pyréthrinoides en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest (Martin *et al.* 2005). Si cette initiative a été un succès pour la maîtrise de la résistance et le partage des connaissances, les producteurs maraîchers, eux aussi impactés par la résistance de ce ravageur dans les territoires concernés, n'ont pas participé à sa mise en œuvre mais ont profité de ses retombées. L'expérience de cette mise en place de gestion

concertée des ravageurs a permis d'approcher les défis d'organisation que pose une approche collective et territoriale, et la nécessité d'intégrer le maximum d'acteurs avant d'entreprendre l'action collective considérée.

L'ambition des travaux de recherche sur les systèmes agricoles et la complexité des processus d'adoption de méthodes agroécologiques doivent conduire à interagir en amont du processus d'innovation avec les acteurs des territoires concernés. Il faut que les acteurs se représentent des bénéfices, issus du paysage ou des effets de ce paysage sur les ennemis naturels, pouvant être obtenus en agissant sur celui-ci. Ensuite, il faut qu'une partie des acteurs se représente cette possibilité comme dépendante des autres acteurs. Les représentations des acteurs sont à la source de leurs actions. Comme montré par des enquêtes auprès d'arboriculteurs du Sud de la France, le paysage n'est pas toujours considéré comme une ressource pour la lutte biologique contre les ravageurs par la conservation, mais plutôt comme une source de ravageurs (Salliou & Barnaud 2017). Le succès d'une telle approche repose donc sur la perception par les acteurs d'intérêts communs à résoudre un problème partagé. Une coopération dans la gestion des ressources naturelles à l'échelle du territoire (agriculteurs, organisations paysannes, décideurs politiques, *etc.*), soutenue par des sessions de formation et la mise en place de règles de mise en œuvre des programmes de lutte ou d'aménagement du paysage favorisant les services écosystémiques, constitue le pilier de l'action.

## CONCLUSION

La réduction de l'utilisation d'insecticides en culture cotonnière est une tendance irréversible. Grâce à la définition de seuils pour déclencher des traitements contre certains ravageurs, de nombreux producteurs de coton en Afrique subsaharienne sont engagés dans cette voie. Mobiliser de nouveaux leviers pour « écologiser » le contrôle des insectes ravageurs représente un enjeu stratégique pour la filière.

Le changement des pratiques, au bénéfice de la mobilisation des services de régulation écologique des bioagresseurs, constitue une voie à explorer pour inventer des modèles d'intensification écologique de la production agricole, permettant d'accroître la productivité des systèmes agricoles (produire plus) et de diminuer la dépendance des producteurs vis-à-vis des pesticides (produire mieux). Les leviers permettant de favoriser les processus de régulation naturelle des bioagresseurs sont multiples et redevables d'actions aux différentes échelles du champ cultivé au territoire, mais nécessitent encore d'approfondir notre connaissance du « système de vie » des bioagresseurs et de leurs ennemis naturels, pour construire des règles de décision tenant compte du contexte paysager. A terme, il s'agit de construire une organisation territorialisée d'actions individuelles et collectives de gestion des ravageurs et des services écosystémiques, incluant des dimensions écologiques, économiques et sociales.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALTIERI M & NICHOLLS C (2004) *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*, Second Edition. CRC Press.
- ATTOUMANI-RONCEUX A, AUBERTOT JN, GUICHARD L, JOUY L, MISCHLER P, OMON B ET AL. (2010) *Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture*. Ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement, RMT SdCi.
- BARAKA MR, BAHIRA ME, ALLA MAE, ABD ER & IMAM AI (2008) Evaluation of the number of releases of the egg parasitoid, *Trichogramma evanescens* West, in suppressing the spiny bollworm, *Earias insulana* (Boisd.) infestation in El-Farafra cotton fields, New Valley Governorate, Egypt. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 18, 271-275.
- BARZMAN M, BARBERI P, BIRCH ANE, Boonekamp P, Dachbrodt-Saaydeh S, Graf B, Hommel B, Jensen JE, Kiss J, Kudsk P, Lamichhane JR, Messean A, Moonen A-C, Ratnadass A, Ricci P, Sarah J-L & Sattin M (2015) Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 1199-1215.
- BRÉVAULT T, SOTI V, THIAW C & CLOUVEL P (2015) Maîtriser les paysages et les processus écologiques propres à cette échelle. In : Escadafal Richard (ed.), Masse Dominique (ed.), Chotte Jean-Luc (ed.), Scopel Eric (ed.). *L'ingénierie écologique pour une agriculture durable dans les zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest*. Montpellier : CSFD, Agropolis International, p. 46-49.
- BRÉVAULT T & BOUYER J (2014) From integrated to system-wide pest management: challenges for sustainable agriculture *Outlooks on Pest Management* 25, 212-213.
- BRÉVAULT T, COUSTON L, BERTRAND A, THÉZÉ M, NIBOUCHE S & VAISSAYRE M (2009) Sequential pegboard to support small farmers in cotton pest control decision-making in Cameroon. *Crop Protection* 28, 968-973.
- BRUCE TJ (2010) Tackling the threat to food security caused by crop pests in the new millennium. *Food Security* 2, 133-141.
- BRUCE TJA, MATTHES MC, CHAMBERLAIN K ET AL. (2008) *Cis-Jasmone induces Arabidopsis genes that affect the chemical ecology of multitrophic interactions with aphids and their parasitoids*. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 105, 4553-4558.
- BYERS J A, & NARANJO SE (2014) Detection and monitoring of pink bollworm moths and invasive insects using pheromone traps and encounter rate models. *Journal of Applied Ecology* 51, 1041-1049.
- CARDÉ R T & MINKS AK (1995) Control of moth pests by mating disruption: successes and constraints. *Annual review of entomology* 40, 559-585.
- CARRIÈRE Y, ELLSWORTH PC, DUTILLEUL P, ELLERS KIRK C, BARKLEY V & ANTILLA L (2006) A GIS based approach for areawide pest management: the scales of *Lygus hesperus* movements to cotton from alfalfa, weeds, and cotton. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 118, 203-210.
- CONG R-G, SMITH HG, OLSSON O & BRADY M (2014) Managing ecosystem services for agriculture: Will landscape-scale management pay? *Ecological Economics* 99: 53-62.
- CROWDER D & JABBOUR L (2014) Relationships between biodiversity and biological control in agroecosystems: Current status and future challenges. *Biological Control* 75, 8-17.



- DEGUINE JP, FERRON P & RUSSELL D (2008) Sustainable pest management for cotton production. *A review. Agronomy for sustainable Development* 28, 113-137.
- DOWNES S, KRITICOS D, PARRY H ET AL. (2017) A perspective on management of *Helicoverpa armigera*: transgenic Bt cotton, IPM, and landscapes. *Pest Management Science* 73, 485-492.
- FAO (2014) Integrated Pest Management. <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/ipm/en/>. Site consulté le 11/10/2017.
- GAHUKAR RT (2000) Use of neem products/pesticides in cotton pest management. *International journal of pest management* 46, 149-160.
- GOERGEN G, KUMAR PL, SANKUNG SB, TOGOLA A & TAMÒ M (2016) First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PLoS ONE* 11(10): e0165632.
- GOODELL PB (2009) Fifty years of the integrated control concept: the role of landscape ecology in IPM in San Joaquin valley cotton. *Pest Management Science* 65, 1293-1297.
- GREGG PC, DEL SOCORRO AP & HAWES A (2004) Magnet®: An attract-and-kill formulation for *Helicoverpa armigera* and *H. punctigera* (Lepidoptera: Noctuidae) based on plant volatiles. In: The 2004 ESA Annual Meeting and Exhibition. [http://esa.confex.com/esa/2004/techprogram/paper\\_14005.htm](http://esa.confex.com/esa/2004/techprogram/paper_14005.htm).
- KENNEDY GG & STORER NP (2000). Life systems of polyphagous arthropod pests in temporally unstable cropping systems. *Annual review of entomology* 45, 467-493.
- LIU B, YANG L, YANG F, WANG Q, YANG Y, LU Y & GARDINER MM (2016). Landscape diversity enhances parasitism of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) eggs by *Trichogramma chilonis* in cotton. *Biological Control* 93, 15-23.
- LOPEZ LLANDRES A, ALMOHAMAD R, BRÉVAULT T, RENOU A, TÉRÉTA I, JEAN J, GOEBEL F-R (2018) Plant training for induced defense against insect pests: a promising tool for integrated pest management in cotton. *Pest Management Science (in press)*.
- LUO S, NARANJO SE & WU K (2014) Biological control of cotton pests in China. *Biological control* 68, 6-14.
- MARTIN T, OCHOU OCHOU G, DJIHINTO A, TRAORE D, TOGOLA M, VASSAL JM, VAIS-SAYRE M & FOURNIER D (2005) Controlling an insecticide resistance bollworm in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, 409-411.
- MENSAH R, LEACH D, YOUNG A, WATTS N & GLENNIE P (2015) Development of *Clitoria ternatea* as a biopesticide for cotton pest management: assessment of product effect on *Helicoverpa* spp. and their natural enemies. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 154, 131-145.
- MENSAH RK, VODOUHE DS, SANFILLIPPO D, ASSOGBA G & MONDAY P (2012) Increasing organic cotton production in Benin West Africa with a supplementary food spray product to manage pests and beneficial insects. *International Journal of Pest Management* 58, 53-64.
- PARNELL FR, KING HE, RUSTON DF (1949) Insect resistance and hairiness of the cotton plant. *Bulletin of Entomological Research* 39, 539-575.
- RATNADASS A, FERNANDES P, AVELINO J & HABIB R (2012) Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 273-303.
- RENOU A & BRÉVAULT T (2016) Ravageurs et maladies du cotonnier, et gestion intégrée des ravageurs. In : Crétenet Michel (ed.), Gourlot Jean-Paul (ed.). *Le cotonnier*. Versailles, Ed. Quae, 109-154.



- RENOU A, TÉRÉTA I & TOGOLA M (2011) *Manual topping decreases bollworm infestations in cotton cultivation in Mali*. *Crop Protection* 30, 1370-1375.
- RENOU A (1987) *Achievements in the biological control of Heliothis armigera (Hbn), a pest of the cotton crop in North Cameroon*. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent* 52, 311-318.
- RUSCH A, VALANTIN-MORISON M, SARTHOU JP & ROGER-ESTRADE J (2010) *Biological control of insect pests in agroecosystems: effects of crop management, farming systems and semi-natural habitats at the landscape scale. A review*. *Advances in Agronomy* 109, 219-259.
- SALLIOU N. & BARNAUD C. (2017) *Landscape and biodiversity as new resources for agro-ecology? Insights from farmers' perspectives*. *Ecology and Society* 22, 16.
- SCHELLHORN NA, PARRY HR, MACEADYEN S, WANG Y & ZALUCKI MP (2015) *Connecting scales: Achieving in-field pest control from areawide and landscape ecology studies*. *Insect science* 22, 35-51
- SHOWALTER AM, HEUBERGER S, TABASHNIK BE, & CARRIÈRE Y (2009) *A primer for using transgenic insecticidal cotton in developing countries*. *Journal of Insect Science* 9, 22.
- SILVIE PJ, RENOU A, VODOUNNON S, BONNI G, ADEGNIKA MO, HÉMA O ET AL. (2013) *Threshold-based interventions for cotton pest control in West Africa: What's up 10 years later?* *Crop Protection* 43, 157-165.
- STERN VM, SMITH R, VAN DEN BOSCH R & HAGEN K (1959) *The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: the integrated control concept*. *California Agriculture* 29, 81-101.
- TABASHNIK BE & CARRIÈRE Y (2017) *Surge in insect resistance to transgenic crops and prospects for sustainability*. *Nature Biotechnology* 35, 926-935.
- TABASHNIK B E, SISTERSON MS, ELLSWORTH PC, DENNEHY TJ ET AL. (2010). *Suppressing resistance to Bt cotton with sterile insect releases*. *Nature biotechnology* 28, 1304.
- TÉRÉTA I, BRÉVAULT T, SISSOKO F, GOEBEL R & RENOU A (2016) *Cotton topping as a way to reduce farmer's reliance on insecticides in Mali*. *World Cotton research Cotton Conference*. Goiânia, Goiás, Brazil, May 2-6, 2016.
- TOGBE CE, HAAGSMA R, ZANNOU E, GBEHOUNOU, G, DEGUENON JM, VODOUHE S, KOSSOU D, & VANHUIS A (2015) *Field evaluation of the efficacy of neem oil (Azadirachta indica A. Juss) and Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. in cotton production*. *Journal of Applied Entomology* 139, 217-228.
- TSCHARNTKE T, TYLLANAKIS JM, RAND TA, DIDHAM RK ET AL. (2012) *Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses*. *Biological Reviews* 87, 661-685.
- VERES A, PETTIT S, CONORD C & LAVIGNE C (2013) *Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review*. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166, 110-117.
- WAN P, HUANG Y, TABASHNIK BE, HUANG M & WU K (2012) *The halo effect: suppression of pink bollworm on non-Bt cotton by Bt cotton in China*. *PLoS ONE* 7: e42004.
- WAR AR, PAULRAJ MG, AHMAD T, BUHROO AA, HUSSAIN B, IGNACIMUTHU S & SHARMA HC (2012) *Mechanisms of plant defense against insect herbivores*. *Plant Signaling & Behavior* 7, 1306-1320.
- WU KM, LU YH, FENG HQ., JIANG YY & ZHAO JZ (2008) *Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton*. *Science* 321, 1676-1678.